

強度の運動負荷が終夜睡眠に与える影響について

(受理 昭和46年2月1日)

青 山 一 夫

はじめに

睡眠に関する生理学的な研究はその時代に於ける関連領域の進歩に対応して、1890年代から現在に至るまで古く、そして新しい課題として進められている。

ところが最近 electronics の急速な進歩により従来、transducer、電極、増幅器等にゆだねられていた生体情報の採取が平均加算用電子計算器、相関計等の使用によって複雑な情報の分析及び従来では不可能と考えられていた微弱な信号まで測定可能にしている。

それ等 electronics の技術面の利用及び工学的概念の導入によって睡眠を対照とした中枢神経系の生理学も長足の発展を遂げ、最近のこの方面に関する仕事の内容をみると、Kleitman¹⁾ が “Sleep and Wakefulness,” を著した1939年当時と比べ隔世の感がある。

Kleitman²⁾³⁾、Demout⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 等によって大系づけられた生理学的研究は Lyon 大学の M. Jouvet⁷⁾ により神経生化学的な分析が加えられ Paradoxical sleep という新しい課題が示された。現在の処ろ、この特異な睡眠中の時相について必ずしも統一された命名は行われていないが Tokizane⁸⁾ が提唱する正常な睡眠相を ortho-sleep (略して OS) と言うのに対して逆説睡眠, para-sleep (略して PS) という呼称に従い記述を進める。

人間の最も基本的な bio-rhythm を24時間の単位で考えると、一般に成人の場合は約8時間の睡眠期と約16時間の覚醒期に区分され、

それが交互に周期的に現れることは衆知の事実である。この2つの交替する周期のうち、夜間の睡眠期に於ける現象は個人によって多少の差異はあるが本質的なものではない。即ち年令、性別、職種、人種、社会的地位等による区別はなく、夜間の正常な睡眠を阻害する或る種の疾患を持つ病人の他は、万人が等しく生物学的な睡眠をむさぼるのである。処ろが昼間の覚醒期に於ける様式は個人により千差万別である。

そこで昼間の覚醒期に集団で規定された時間を強度な身体運動負荷条件下に過ごす合宿訓練等に於ける bio-rhythm の中で睡眠は如何なる態度をとるであろうか？

更に全睡眠期間中に現れる PS の出現様式に何か変化があるだろうか？

そして、それ等は累積されて行く疲労の恢復に果す睡眠の役割を知るうえからも極めて重要なことと思われる。

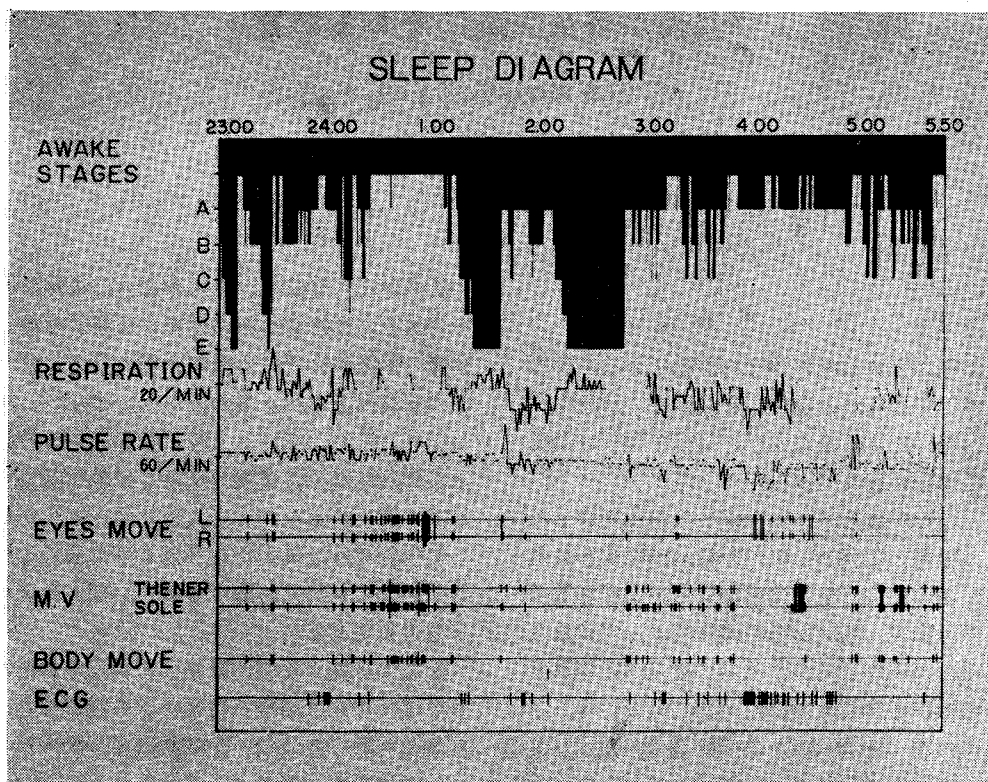
以上の問題の解明の為にやって来た実験成績を中心に述べ、2—3の問題を提起する。

実験方法

全睡眠期間中に於ける脳機能の変化を検討するために多素子脳波計による脳波記録を主体とした同時記録により呼吸、循環系及び自律神経系の変動を記録した。

記録は被検者が可及的に安静状態で就眠できるように遮閉室内の bed も短時間の一般検査用のものを使用せず、終夜睡眠を最も平常に近い状態で行わせるべく留意した。

図 1



入眠時刻は殆んどの被検者が午後10～11時頃で覚醒時刻は午前5～6時の間であった。

少数の例外を除いて被検者は健康な成人男子であり、昼間に強度な運動負荷を受けているためか環境の相違による不眠を訴える者はいなかった。

背位で入眠後、周期的な体位変換が行われるため多くの transducer、電極等が脱落しないよう、その接着には慎重を要した。特に頭皮誘導脳波用の盃状電極は長時間の接着に耐えるために Bentonite 糊の組成及び接着剤として collodium 使用等の配慮が必要であった。

終夜実験中、micro-vibration (略してM-V) 用の transducer は拇指球部に於ける圧着状態が変わることがあるが就眠中の被検者を覚醒させることなく復元することができた。

PS相の出現及びその周期と持続時間等の検討を合理的に行うための同時記録は以上の如き注意のもとに磁気録音法による間接的操作を排し、検者は3名編成で直接監視下に記録した。

脳波記録は日本工電製17素子万能型脳波計ME-175を使用し、前頭、後頭、頭頂、側頭の左右両半球から8誘導で行った。尚、入眠後の体位変換による電極のゆれ乃至脱落を可及的に防止する目的で後頭部の誘導は後頭結節より2横指上の位置で行い完璧を期した。

呼吸曲線の記録は tambour 型の transducer を剣状突起部の高さで胸廓前面に装着した。

心電図は肢誘導で記録するに止め、心拍数はR-R間隔の計算により全眠経過中の1

図 2

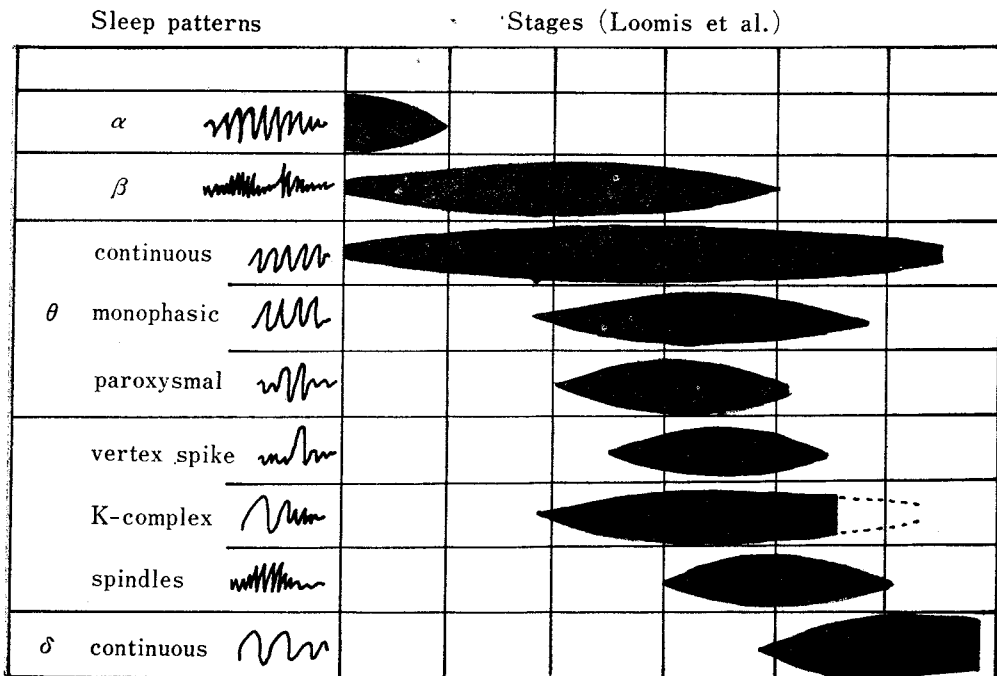


表 1

(Hoff. F.)

night (trophotropic)		noon (ergotropic)
	body temperature	<
	basal metabolism	<
>	reserve alkali	
>	K/Ca	
	adrenalin (blood)	<
	17-ketosteroid	<
>	eosinocyte	
	neutrocyte	<
>	lymphocyte	
	reticulocyte	<
	pulse rate	<
	blood pressure	<
	minute volume	<
	vital capacity	<

分毎を plot した。肢誘導記録の所見から心電図学的な詳細は検討できないが、本実験に於ける第1段階の filter としての資料にはなるものと思われる。

M-V, 身体表面微細振動は、日本光電製 titanic-acid silicon lead 使用の transducer を一側の拇指球に接着して記録した。

眼球運動は脳波用盞状電極を使用し、一側眼球の上下眼瞼部及び鼻根部と外側眼瞼部外方に接着し、上下、左右方向の運動を記録した。

上記の M-V transducer を左前胸部で心尖拍動部に接着し、心音記録及び入眠中のいびきの記録を行った。

被検者が終夜睡眠を行う遮閉室は恒温、恒湿状態に保った。実験中は騒音、照明等の一切のえいきょうを除去し就眠に至適な個室環境であるように心掛けた。

以上の如き多現象に就いての同時記録成績は全て1分毎に plot し図1の如き終夜睡眠図を作成した。脳波所見から睡眠深度を分類する方法は研究者によって必ずしも統一されていない。分類上の段階に多少の差異があるに過ぎず、その不統一は脳波学上の問題ではない。本実験に於いては、図2に示す如く、Loomis の分類に従った。

実験成績及び考察

人間の基本的な bio-rhythm を24時間単位に分け、そのうち昼の部分を ergotropic な時相とし夜の部分を trophotropic な時相として生理学的機能を考えることを提唱したのは Hoff. F.⁹⁾ である。

彼の報告によると、表1の如く ergotropic な昼は当然乍ら強度な身体活動に充分適応し得る基礎状態が準備されていることがわかる。

処ろで前言にも触れたように、訓練中の運動部の学生達のように ergotropic な昼に強度な運動負荷が加えられる場合、比較的安静

な生活を過している一般の成人と比べて、trophotropic な夜の pattern はどうであろうかという問題が提示される。

実験方法の項でも触れたように被検者の全睡眠期間の膨大な記録を各項目について1分毎に plot する実験の煩雑さの為に少数例の検討にならざるを得なかった。

一般の成人を対照とした終夜睡眠図を検討してみると、朝比奈の言うように必ずしも一樣ではない。図3。

睡眠深度による分類から見ると、深睡眠期が早朝に多いA群と入眠後の夜間に多いB群、及びそのいずれにも属さない不定型に含まれるC群がある。そこで、昼間に強度な運動負荷を与えられている今回の実験例を比較してみると、全例が夜型のB群に属していることがわかった。

脳波所見による睡眠深度から見た限り、昼間の運動負荷は夜間のB群に帰着することは常識的に考えて当然のことと云える。実験中、極端な例では電極の装着中すでに傾眠期に入る者がいることから理解できる。

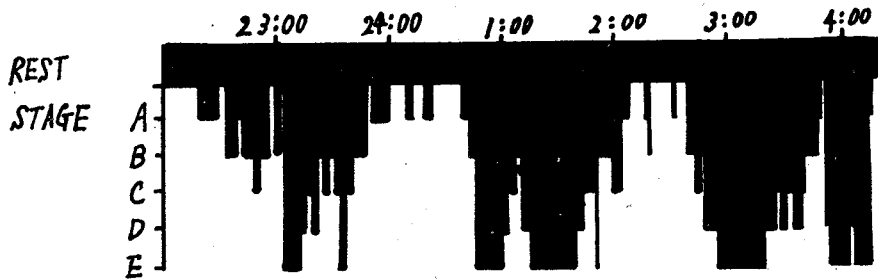
同様な傾向は48時間の断眠負荷後に行った終夜睡眠脳波記録に際しても見られた。極めて素朴な表現ではあるが、それ等の現象は疲労に起因するものと考えられる。

以上は睡眠深度のみを指標とした比較であるが、次に全睡眠過程に於いてPS相がどのように出現しているかに就いて検討してみる。

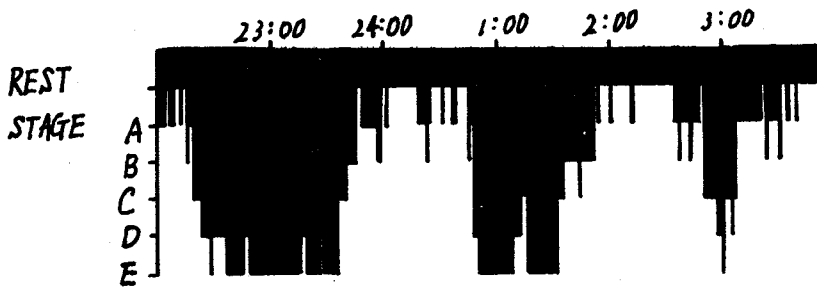
図1は強化訓練中の被検者に対して行った終夜記録から作製した sleep diagram である。入眠後1時間20分位で脳波所見は覚醒像を示し、全般的な基礎律動は低電位速波となる。勿論、生理学的には熟睡しているし急速眼球運動も頻発している。この時期はPS相に対応するものと考えられる。

一般にPS相では大脳皮質脳波の水準は殆んど覚醒状態に近く、終夜睡眠の全過程の中で60~90分の睡眠周期が現れ、その単一睡眠周

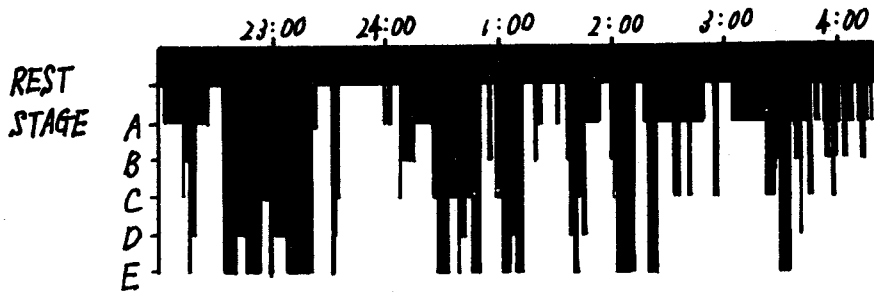
図 3



A-group



B-group



C-group

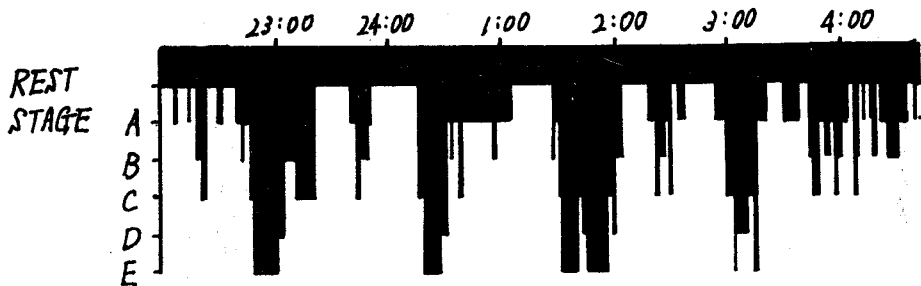
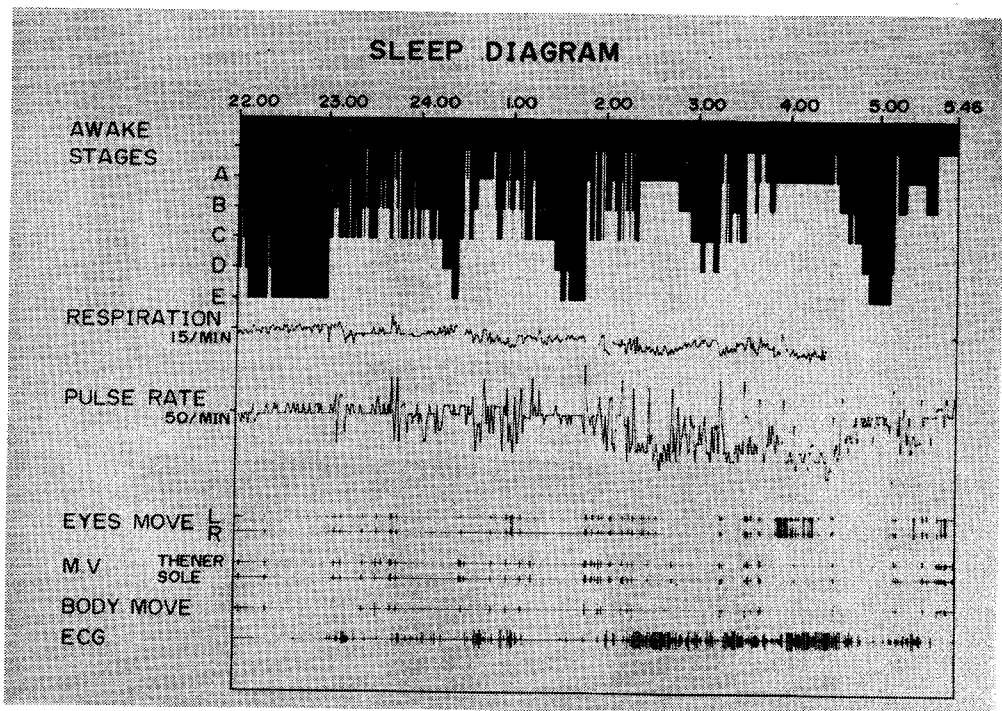


図 4



期の終り頃に発現するのが普通である。そして early morning sleep と呼ばれるように早朝覚醒時に接近して現れることが多い。

また上述の各単一睡眠期の初期または中期に少々深い睡眠状態を示し乍ら自律神経系機能を中心として他の多くの機能水準が高い活動状態を示すことがある。このような時期を reverse paradoxical phase (略してRPP) と言うべきであると朝比奈は提案している。処ろが今回の実験例では諸家の報告といささか異なる結果が認められた。

図1に示す如く、PS 相は全睡眠過程の前半に出現し、時期的には RPP に対応し乍ら脳波水準からみると覚醒像を示し PS であることはうたがいもない事実である。

図4は同一被検者の時期を変えて行った記録による sleep diagram で、図1と比較すると PS 相の出現時期が著るしく変動している。

即ち、公式試合直後の記録を示す図4では PS 相が early morning stage に出現しているが、同時記録による他の所見から見ると心拍数の著明な減少と眼球運動の多発及び粗体運動の抑制が目立っている。

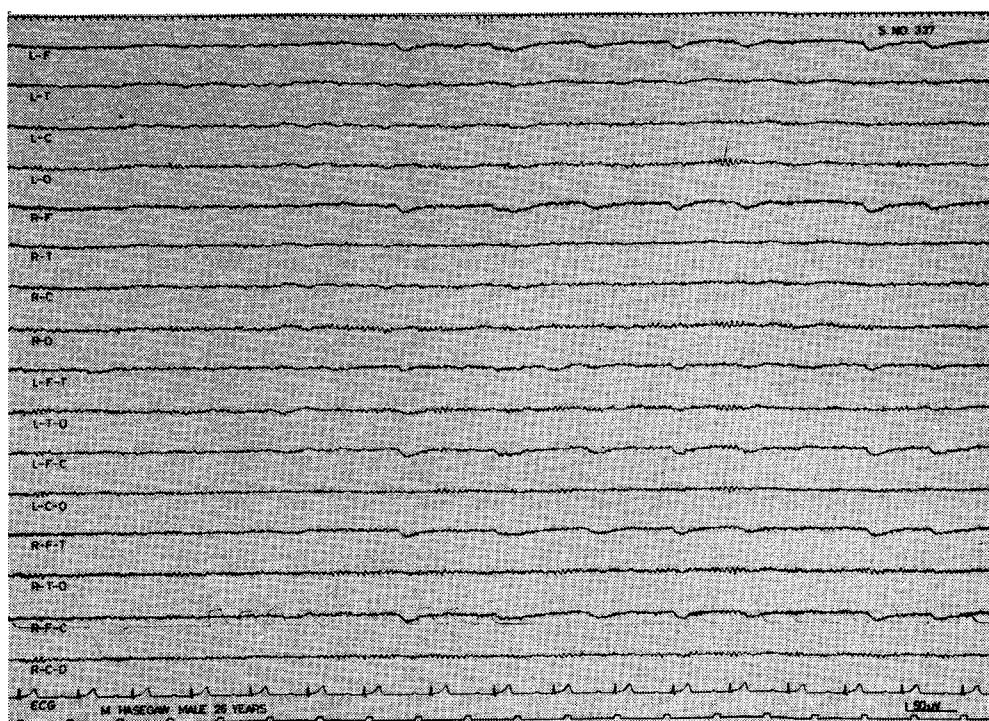
最も注目すべき事実は同時記録による心電図所見である。図4に於いては入眠後の PS 相は出現していないが、図1では PS 相に対応して不整脈が頻発しているのがわかる。

これは Wenckebach type の A-V block に属するもので、一般に副交感神経緊張によるものと考えられている。

PS 相に於ける心拍数は上昇することが知られている。但しこの場合は、rapid eye movement phase (略してREMP) であろうと考えられている。心拍数の低下が見られるのは PS 相より、むしろ RPP に多いことも知られている。

終夜睡眠に於ける心拍数の変化に関しては

図 5



記録の簡単なことにもより古くから多くの発表がある。²⁾³⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

最近の殆んどの研究によると PS 相に心拍数の促進するという報告が多い。

ネコによる動物実験も多く行われているが、¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾心拍数の増減は OS 相の平均心拍数から 150/min を境にして、それより高いものは減少し、低いものは増加すると云う報告がある。¹⁷⁾¹⁹⁾

また両者の洞神経、大動脈神経切断によるえいきょうはないと言う。²⁰⁾²¹⁾

自律神経系のえいきょうを見る目的で延髄切断条件下の動物実験により REM, OS, PS の各時期に於ける心拍数を見た岩村らの実験では、PS 相に副交感神経の活動が上昇していることを示している。但し REM 相には逆に副交感神経活動の低下することもある。

予め星状神経節を切断したネコでも PS 相

に心拍数の変化は現れ、この神経支配は迷走神経を介して行われていることは明かである。¹⁷⁾

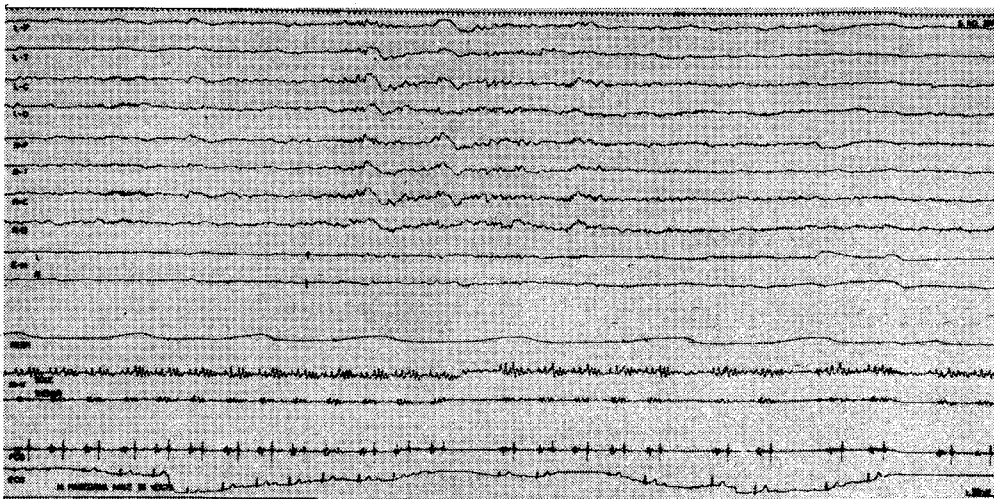
また最近、自律神経系に与える前庭核のえいきょうも論議され、前庭自律神経系の複雑な支配関係に関心が持たれている。

Ponpeiano²²⁾ らが行った medial descending nucleus の破壊実験から、心拍変化に与える前庭系のえいきょうは注目を浴びたが、それら一連の破壊実験のみから心拍変動に支配的なえいきょうを与えているのは前庭自律神経系という単一な系のみに帰結することは出来ない。

然し乍ら極めて重要な関係を持っていることは推定できる。

今回の実験によって認められた PS 相に出現する心電図所見の変化として A-V block の現れる背景には複雑な神経支配の協調関係

図 6



の解離が考えられる。それは PS 相出現の原因として考えられている自律神経支配系の解離、及びその mechanism さえ不明な部分の多い現在、極めて難解な問題である。

図 5 の脳波所見は同一被検者の PS 相に対応する時期のもので、覚醒状態に近い脳波像を示している。

図 6 の同時記録所見は毎秒 3 cm の速度で行った終夜記録所見の一部である。

上段から 8 素子を脳波、次の 2 素子を眼球運動、次の 1 素子を呼吸運動、次の 2 素子を身体表面微細振動 (M—V)、次の 1 素子を心音図、最下段の 1 素子を心電図として多現象同時記録を行ったものの一部である。

記録所見に認められるように紡錘波が左右の中心部に出現している軽睡眠期には心電図、心音図は正常な律動を示し安定している。

次に非定型な K-complex が認められ、覚醒反応の現れる時期から、全般的に脳波像の低電位速波を示す頃になると、心電図、心音図には Wenkebach の周期の延長が現れ、A—V block が頻発するのがわかる。

以上の如く、記録された現波形から 1 分毎の現象を plot して作製した sleep diagram

は前に図示したが、それに示されている如く PS 相と一致した時期に前述した Wenkebach II 度の A—V block が頻発する事実が、単なる一過性の生理学的範囲をこえることのない現象なのか？ 或いはそれら機能的な範囲をこえた現象なのか？ そして更に Jouvett が設定した monoaminergic 機構にも何等かのえいきょうがあるのか等の問題はすべて今後に残されている。

少くとも、一般の bio-rhythm 内の夜間睡眠中の記録からでは以上のような頻発する A—V block は認められなかった。

Trophotropic な夜間睡眠中に行われる神経生化学的な体液機構は安静な昼間を過ごす場合と、強度な運動負荷を累積する場合では異なるのかも知れない。

この問題に対する積極的な生化学的追及は人体に対して行うことが出来ないし、動物実験に於いては至適な運動負荷条件及び疲労度の判定に困難がある。

以上のように幾つかの障害はあるが、可及的、合目的な方法によって、この強度な運動負荷と夜間睡眠の関係を、特に疲労回復の面からも重要な課題と思われるので、今後更に

追及して行く積りである。

お わ り に

24時間単位の bio-rhythm の中で ergotropic な昼間に強度な運動負荷を加える場合、夜間の全睡眠時間に如何なるえいきょうがあるかに就いて脳波を中心とした多項目同時記録による実験を行った。特に睡眠中に出現する PS 相を指標として検討した処ろ、2—3 の知見を得た。

1) 終夜睡眠脳波を1分毎に plot して検討すると、入眠と同時に深睡眠期に移行す

る夜型が多く、これは昼間の疲労と対応して考えられる現象と思う。

2) PS 相の出現時期は同一被検者でも記録時期により、必ずしも一定していない。特に今回の実験では経時的に加えられて行く運動負荷による個体側の累積疲労と何等かの関係があるものと思われる。

3) 脳波像、その他から検討して PS 相に一致した時期に心電図所見に Wenckebach II 度の A-V block が頻発した。同様の変化は、深睡眠期、軽睡眠期には全く見られなかった。

参 照 文 献

1. Kleitman, N., : Sleep and Wakefulness. Univ. Chicago Press., Chicago, 1963
2. Kleitman, N., et al.: Science 118:273-274, 1953
3. Kleitman, N., et al.: J. Appl. Physiol. 8: 1-10, 1955
4. Demont, W., et al.: Electro-enceph. Clin. Neurophysiol. 9: 673-690, 1957
5. Demont, W., et al.: J. Exp. Physiol. 53: 338-346, 1957
6. Demont, W., et al.: Science 152: 604-519, 1966
7. Jouvet, M., : Progress in Brain Research. vol, 18, 20-54, 1965
8. Tokizane, T., : Progress in Brain Research. vol, 20-B: 250-368, 1966
9. Hoff, F., : Deutsche Med. Wschv. 77, 1952
10. Shapiro, A., : J. Appl. Physiol. 19: 778-783, 1964
11. Snyder, F., et al.: Science. 142: 1313-1314, 1953
12. Snyder, F., et al.: J. Appl. Physiol. 19: 417-422, 1964
13. Snyder, F., : Amev. J. Psychhiat. 122: 377-391
14. Jouvet, M., et al.: CR Soc. (Paris) 153: 422, 1959
15. Jonvet, M., : CIBA Fonnd. Symposium on the Nature of Sleep. 188-206, 1961
16. Kauzow, E., et al.: Pflügers. Arch. gls. Physiol. 874: 593-607, 1962
17. Tokizane, T., : Progress in Brain Research. 21-B: 230-268, 1966
18. Candia, O., et al.: Arch. Ital. Biol. 100: 216-233, 1962
19. Iwamura, Y., et al.: Brain Research 7: 182-190, 1968
20. Guazzi, M. and Zanchetti, A., : Arch. Ital. Biol. 103: 789-817, 1965
21. Guazzi, M., et al.: Cardiovasc. Research, 3: 265-270, 1968
22. Panpeiano, O., : Arch. Ital. Biol. 108: 154-180, 1970

The Effect of Strenuous Training on Sleep

by

Kazuo Aoyama

The result of the research conducted on the brain wave on 24 hours unit revealed that intensive exercise in hard training during waking hours had clear effect on sleep.

1. After hard training the cases fell into deep sleep immediately after retiring. Sleep Diagram showed that most cases fell into the B-group, proving the result of the fatigue accumulated during the waking hours.
2. Paradoxical Sleep Phase (PSP) was not identical even in the same case. The time of the appearance of PSP varied according to the degree of accumulated fatigue.
3. The study made on the brain wave, A-V Block in the second degree Wekebach was discovered at the PSP condition, which was not observed during deep sleep or during drowsy stage.